

团 体 标 准

电子导向胶轮系统 路面设计要求

（征求意见稿）

编制说明

2025. 11. 14

《电子导向胶轮系统 路面设计要求》 (征求意见稿) 编制说明

1 任务来源、协作单位

1.1 任务来源

根据 2023 年 3 月 13 日中国城市轨道交通协会发布的《关于下达中国城市轨道交通协会 2023 年第二批团体标准制修订计划项目的通知》(中城轨〔2023〕11 号)制定,由低运能系统分会(原现代有轨电车分会)提出,北京城建设计发展集团股份有限公司牵头组织有关单位编写《电子导向胶轮系统 路面设计指南》,由中国城市轨道交通协会标准化技术委员会归口,项目编号:2023049-T-07,计划完成时间为 1 年。

1.2 协作单位

本标准由北京城建设计发展集团股份有限公司主编,联合江苏苏博特新材料股份有限公司、中铁四院集团新型轨道交通设计研究有限公司、东南大学、中车唐山机车车辆有限公司共同编制。

2 编制工作组简况

本标准吸纳了包括设计单位北京城建设计发展集团股份有限公司及中铁四院集团新型轨道交通设计研究有限公司、新材料公司江苏苏博特新材料股份有限公司、建设单位佛山市南海区铁路投资有限公司、车辆厂家中车唐山机车车辆有限公司、东南大学共 6 家单位联合编制。

序号	姓名	单位	分工
1	丁强	北京城建设计发展集团股份有限公司	主起草人
2	解来江	北京城建设计发展集团股份有限公司	第 7 章参编人员
3	张昞	北京城建设计发展集团股份有限公司	第 1-3 章编写、标准化人员
4	王丽君	北京城建设计发展集团股份有限公司	第 6 章参编人员
5	赵娟娟	北京城建设计发展集团股份有限公司	第 6 章参编人员
6	洪锦祥	江苏苏博特新材料股份有限公司	审核人
7	江磊	江苏苏博特新材料股份有限公司	第 6 章参编人员及标准化人员
8	熊子佳	江苏苏博特新材料股份有限公司	第 6 章参编人员
9	俞骏晖	中铁四院集团新型轨道交通设计研究有限公司	第 8 章主要编写及标准化人员
10	张恒	中铁四院集团新型轨道交通设计研究有限公司	第 8 章参编人员
11	乔俊	中铁四院集团新型轨道交通设计研究有限公司	第 8 章参编人员
12	黄新卫	佛山市南海区铁路投资有限公司	审核人
13	陈磊磊	东南大学	第 5 章主要编写人
14	陈道燮	东南大学	第 5 章参编人员
15	杜岩	中车唐山机车车辆有限公司	第 4 章主要编写人

16	郭耀华	中车唐山机车车辆有限公司	第 4 章参编人员
----	-----	--------------	-----------

3 起草阶段的主要工作内容

在本次规范的编制过程中，完成了大量的基础研究工作，确保了规范的规范性和权威性。编制过程概要如下：

(1) 起草阶段

1) 规范计划下达后，北京城建设计发展集团股份有限公司组织各参编单位组成起草组，明确了人员及分工，及时开展了前期准备工作。

2) 2023 年 3 月，北京城建设计发展集团股份有限公司线上组织编制单位召开编制工作启动会，对电子导向胶轮系统路面工程的现状及发展方向进行了交流和探讨，收集、梳理、归纳、总结了相关技术标准等，并形成初步编制大纲意见。

3) 2023 年 3 月至 2025 年 9 月，北京城建设计发展集团股份有限公司先后多次组织编制工作会，厘清工作思路，梳理对比现行相关规范，对初稿进行逐条讨论和修改，形成征求意见稿。

4 标准编制原则及与国家法律法规和强制性标准及有关标准的关系

本标准编制原则如下：

- (1) 遵守国家有关法律、法规；
- (2) 符合国家强制性标准的要求；
- (3) 与现行国家标准、行业标准相协调；
- (4) 标准编制格式统一、规范，符合 GB/T 1.1-2020 规定；
- (5) 符合《中国城市轨道交通协会团体标准管理办法》（修订）要求；
- (6) 及以后列项内容应符合电子导向相关标准，如符合电子导向相关技术规范要求。

5 标准主要技术内容的论据或依据；修订标准时，应增加新、旧标准水平的对比情况

5.1 标准主要技术内容的论据或依据

(1) 根据《工程结构可靠性设计统一标准》GB 50153 中明确要求“工程结构设计时，应规定结构的设计使用年限”。

结构设计使用年限是在确定的环境作用和维修、使用条件下，具有一定保证率的年限。设计使用年限应由设计人员与业主共同确定，首先要满足工程设计对象的功能要求和使用者的利益，并不低于有关法规的规定。

根据《城市道路工程设计规范》CJJ37 和《城镇道路路面设计规范》CJJ 169，对于沥青路面的主干路的路面结构设计使用年限为 15 年，沥青路面的次干路的路面结构设计使用年限为 15 年，沥青路面的支路的路面结构设计使用年限为 10 年；对于水泥混凝土路面的主干路的路面结构设计使用年限为 30 年，水泥混凝土路面的次干路的路面结构设计使用年限为 20 年，水泥混凝土路面的支路的路面结构设计使用年限为 20 年。

路面结构的使用年限，是指路面结构达到临界状态的设计年限，表现为累计交通量作用下路面结构不需大修的年限。考虑到电子导向胶轮系统虽属于城市轨道交通范畴，但其运行的载体仍为城市的道路系统。因此，电子导向胶轮系统路面设计使用年限要求仍考虑按城市道路相关标准执行。

（2）轴载换算

电子导向胶轮系统沥青路面结构设计应选取车辙深度、沥青层剪应力、半刚性基层层底拉应力和路基顶面竖向压应变，简化换算流程，将电子导向胶轮系统车辆轴载按照轴载换算基本原则换算成标准轴载，并计算当量设计轴载累计作用次数，作为路面结构设计依据。

水泥混凝土路面结构设计应以面层板在设计基准期内，在行车荷载和温度梯度综合作用下，不产生疲劳断裂作为设计标准；并以最终轴载和最大温度梯度综合作用下，不产生极限断裂作为验算标准。

（3）灌注式半柔性路面

- a) 规定高温稳定性应采用车辙试验的动稳定度来评价，试验应在 70℃ 的试验温度和 1.1MPa 的荷载条件下进行。考虑到随着全球气候变暖与极端高温天气频发，路表温度在夏季持续高温作用下可达到甚至超过 70℃，因此选择此温度作为试验温度；采用非均布压力膜传感器测试电子导向胶轮系统轮胎与路面的接触压力，经过计算分析得到接触压力平均值为 1.1MPa，因此选择此荷载条件进行试验。
- b) 规定应根据气候条件检验灌注式半柔性路面材料的低温抗裂性能。灌注式半柔性路面材料属于水泥-沥青复合材料，具有温度敏感性。根据已有工程应用经验，灌注式半柔性路面服役后路表开裂率与服役环境温度有关，随着服役环境温度降低，灌注式半柔性路面开裂率增加。因此在低温服役环境应提高灌注式半柔性路面的低温抗裂性。

（4）环氧沥青路面

- a) 采用间断级配，提高粗集料比例，减少细集料用量，通过添加矿粉和纤维稳定剂，优化骨架结构，防止沥青流淌，增强混合料稳定。
- b) 在水平剪切力大、频繁启停的路段，利用环氧沥青的高抗变形能力优化路面结构；在气候复杂区域，应结合分子动力学模拟，评估运动特性对路面长期性能的影响，确保环境适应性。

（5）连续配筋水泥混凝土路面

- a) 尽管目前路面工程上提高抗冰冻和抗盐冻的主要手段是掺用引气剂，但是除了引气剂外，混凝土本身应有足够的抗冰冻和盐冻破坏能力以及足够高的弯拉强度，这就要求低水灰比和较大水泥用量。同时，混凝土应具有足够的抗渗性和防水性，而防水、抗渗性混凝土表面必须有足够厚度的水泥砂浆，同样要求较大的水泥用量及低水灰比。

- b) 混凝土性质参数的变异性，一部分来自实验室的试验误差，另一部分来自混合料组成的变异和施工(拌合、摊铺、振捣和养护)以及质量控制和管理的变异。后一部分变异性的影响，已反映在结构设计内(表 24)。而前一部分变异性的影响，须在混凝土配合比设计时考虑，计入混凝土试配弯拉强度的要求值。
- c) 纵向钢筋的埋置深度宜尽量靠近面层顶面，使缝隙宽度较小。但位置过高会造成施工困难。为此，建议离面层顶面的距离不小于 90mm，但不大于 1/2 面层厚度。
- d) 连续配筋混凝土面层配置横向钢筋，主要用于固定纵向钢筋的位置。为了避免面层横向收缩受阻时出现的纵向裂缝，也可按钢筋混凝土面层的配筋原则和要求，按 CJJ 169 要求计算确定。此外，也可以按纵向钢筋用量的 1/8~1/5 取用。

5.2 修订标准时，应增加新、旧标准水平的对比

无

6 主要试验(验证)的分析、综述报告，技术经济论证，预期的经济效果

6.1 主要试验(验证)的分析

基于工程实践和专项研究，对半柔性路面一些关键的材料性能指标、路面组合结构设计、路面验收指标进行验证，如基体大空隙沥青混合料的级配范围、路面抗车辙最优组合结构、开放交通灌浆料强度要求、低温弯曲破坏应变、灌浆饱满度等。

按照条款要求，组织实施相关重要的试验项目进行验证，实施的试验项目有：采用多尺度、多维度的评价方法，对比分析了半柔性路面的抗车辙性能、模量、耐久性特点，并在实际工程中进行持续监测分析。研究了不同混合料及其路面结构设计方法，分析了沥青改性机理及界面特性，探究了混合料性能及力学参数，构建模型进行了重载、渠化交通抗车辙结构与性能评估，分析不同路面结构车辙形成和发展规律，比较不同路面材料与结构的竖向蠕变变形、车辙深度、车辙分布规律及不同层位结构对车辙贡献率等。基于工程应用对工艺及施工质量标准进行了研究，针对长大桥隧、BRT 车道、港区道路、公路、市政、电子导向胶轮系统路段，在典型应用路段埋设传感器，对其服役情况进行定期监测，结合 FWD、雷达探测仪等检测车辙发展情况与模量动态变化规律，进行全面工程应用跟踪观测。

研究表明，采用半柔性路面材料能极大地提升路面的高温稳定性。在一定的材料和结构参数条件下，动稳定度可达 20000 次/mm 以上。且该材料疲劳寿命室内测试值为 200 万次，具有较好的抗疲劳和耐久性能。但由于其模量较高，需要规定材料中沥青材料的比例和类型，用以提高整体柔韧性，以适应低温、冻融地区的应用。材料低温最大弯拉应变可达 1500 $\mu\epsilon$ 以上，能适应国内各种气候条件。

在株洲电子导向胶轮系统廊道路面中设置传感器，包括不同方向的半柔面层和中下面沥青层，收集到系统车辆和公交车运营时的路面应力-应变响应。并在普通公路、市政道路的不同路段中埋设传感器，经过对比分析，参考现有规范对数据进行总结分析，结果为结构设计章节的撰写提供了丰富的数据依据。上述研究成果都为具有重载渠化特征的电子

导向胶轮系统廊道路面提供了丰富的理论基础和应用数据。

在经济效益方面,我国地铁造价约为4-7亿元/公里,现代有轨电车线路造价约为1.5-2亿元/公里,而电子导向胶轮系统车辆在现代有轨电车运能相同的情况下,只需简单的道路改造就能投入使用,整体线路的投资约为现代有轨电车的1/5。与现代有轨电车相比,建设一条10公里的线路,电子导向胶轮系统至少能节省10亿元以上。但电子导向胶轮系统对道路的要求十分严格,其廊道路面部分比普通道路更易产生车辙。

如果采用标准所述的抗车辙性路面技术,广泛应用于电子导向胶轮系统廊道路面,将提升路面寿命10-15年,按照全寿命周期计算,预计每年可以节约养护维修成本500-1000万元。电子导向胶轮系统技术已经在株洲、宜宾、哈尔滨、盐城等地建成通车,极大地缓解了交通压力。如果在全国大部分城市推广开,每年将节约道路车辙维修成本近10亿元,有效解决交通拥堵问题。另外,抗车辙路面技术的应用将减少沥青混凝土的维修养护频次,除节约资源,还有助于降低污染气体的排放,带来显著的社会环境效益。

6.2 综述报告

根据住建部和发改委的十四五建设规划,I型大城市应结合实际推进轨道交通主骨架网络建设,并研究利用中低运量轨道交通系统适度加强网络覆盖,尽快形成网络化运营效益;符合条件的II型大城市结合城市交通需求,因地制宜推动中低运量轨道交通系统规划建设。从国家层面上推动中低运量轨道交通的规划建设和发展。

自2010年以来,我国中低运量轨道交通呈现稳定发展的趋势,运营里程逐年增长,对于完善城市公共交通网络层次、促进城市发展、提升城市形象具有重要意义。随着技术发展,除钢轮钢轨系统外,中低运量轨道交通系统呈现多种制式共同发展的局面,其中,电子导向胶轮系统的出现与应用,为我国低运量轨道交通的建设提供了新思路。

中国城市轨道交通协会团体标准《城市轨道交分类》按照系统制式划分为地铁系统、市域快轨系统、轻轨系统、中低速磁浮交通系统、跨坐式单轨系统、悬挂式单轨系统、自导向轨道系统、有轨电车系统、导轨式胶轮系统、电子导向胶轮系统十类。目前,我国现行规范对电子导向胶轮系统路面设计针对性不强,电子导向胶轮系统路面设计尚无较为完备的标准体系,国内电子导向胶轮系统主要参考的是公路、城市道路标准,这在某一程度上影响了国内电子导向胶轮系统的发展,不符合电子导向胶轮系统的实际特征。随着逐渐增长的建设需求,亟需结合电子导向胶轮系统工程特点,对现有规范的技术指标进行优化和调整,建立一套符合我国电子导向胶轮系统特点的路面设计规范,对电子导向胶轮系统路面的设计提供安全可靠、经济合理、技术先进的指导。

6.3 技术经济论证

(1) 根据各实施项目的统计,路面费用在整个电子导向胶轮系统工程费用中占比较高,其中面层厚度是决定路面工程成本的重要因素。目前我国电子导向胶轮系统路面设计尚无较为完备的标准体系,国内电子导向胶轮系统主要参考的是公路、城市道路标准,现行规范对电子导向胶轮系统的路面设计针对性不强。现行标准对路面设计

的说明也较少，路面设计的大部分内容仍参照城市道路规范实施，亟需补充完善电子导向胶轮系统路面设计的相关技术标准。

(2) 目前我国多个电子导向胶轮系统实施项目，是在既有道路上进行修建的，而既有道路的路面也是经过严格处理过的，偏保守的路面类型及厚度会造成较为严重的车辙，从而造成工程使用舒适性降低，制约电子导向胶轮系统行业的发展。因此，本规范重在优化电子导向胶轮系统路面设计思路，意在降低电子导向胶轮系统使用成本、促进行业健康发展。

6.4 预期的经济效果

(1) 本规范为满足电子导向胶轮系统建设和发展要求，统一电子导向胶轮系统路面设计标准，提高路面设计水平，保证电子导向胶轮系统路面安全与质量，在总结近年来电子导向胶轮系统路面建设、运营的实践经验和科研成果，借鉴国内外有关标准的规定，全面编制本规范。本规范的编制能填补电子导向胶轮系统路面设计标准的空白，使电子导向胶轮系统路面设计能符合安全可靠、技术先进、经济合理的要求。

(2) 本规范的编制，意在推动电子导向胶轮系统路面工程精简设计，有效控制工程造价，有利于电子导向胶轮系统的健康可持续发展。

7 采用国际标准的程度及水平的简要说明

无

8 重大分歧意见的处理经过和依据

无重大分歧

9 贯彻标准的要求和措施建议（包括组织措施、技术措施、过渡办法等内容）

本标准发布后可由中城协低运能系统分会组织各地车辆、材料厂商、设计院及相关建设单位对标准进行宣贯。

主编单位及参编单位通过院内培训、行业论坛宣贯交流等宣贯本标准。

10 其他应予说明的事项，如涉及专利的处理等

关于本团体标准名称变更的说明：项目申报书阶段，本团体标准申报名称为《电子导向胶轮系统 路面设计指南》；在草案编制过程中，因本团体标准的条款多为对设计的规定或要求，经编制组讨论，建议将团体标准名称变更为《电子导向胶轮系统 路面设计要求》。

关于参编单位的说明：项目申报阶段，编写单位为北京城建设计发展集团股份有限公司、同济大学、东南大学、湖南中车智行科技有限公司及江苏苏博特新材料股份有限公司共5家单位；在草案编制过程中，同济大学、湖南中车智行科技有限公司退出本团体标准的编写，为保证文件编写质量，特邀请中铁四院集团新型轨道交通设计研究有限公司及车辆厂中车唐山机车车辆有限公司、业主单位佛山市南海区铁路投资有限公司参与编制，因此形成以北京城建设计发展集团股份有限公司为主编单位，江苏苏博特新材料股份有限公司、中铁四院集团新型轨道交通设计研究有限公司、佛山市南海区铁路投资有限公司、东南大学、中车唐山机车车辆有限公司联合编制的编制组。

在标准编制过程中，因参编单位的变更、工作安排等原因，引起编制工作组人员的变更，申报书中的起草人魏来、兰宏、王兴华、陈璐、汪方方、王山川、肖磊、蒋小晴、刘浏、孙大权、凌森林、黄允宝 12 人，未实际参与到本标准的编制工作。新增编制单位中铁四院集团新型轨道交通设计研究有限公司的俞骏晖、张恒、乔俊参与了标准第 8 章的编制工作，中车唐山机车车辆有限公司杜岩、郭耀华参与了第 4 章的编制工作，江苏苏博特新材料股份有限公司的熊子佳参与了第 6 章的编制工作，东南大学陈道燮参与了第 5 章的编制工作。佛山市南海区铁路投资有限公司参黄新卫参与了全文审核。经编制组一致同意将王兴华、陈璐、汪方方、魏来、兰宏、王山川、肖磊、蒋小晴、刘浏、孙大权、凌森林、黄允宝移出起草人名单，将中铁四院集团新型轨道交通设计研究有限公司的俞骏晖、张恒、乔俊、刘斌、刘少华，中车唐山机车车辆有限公司杜岩、郭耀华、吴江，江苏苏博特新材料股份有限公司的范津、熊子佳，东南大学钱振东、陈道燮纳入标准起草人。